

SR 224

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

● 運転条件の違いによる機関諸元の挙動解析

成 果 報 告 書

平成9年3月

社団
法人 日本造船研究協会

はしがき

本報告書は、日本財団補助事業として、平成6年度から3ヶ年計画で実施した日本造船研究協会第224研究部会「運転条件の違いによる機関諸元の挙動解析」の研究成果をとりまとめたものである。

第224研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長 福垣 敦男（東海大学）
代表幹事 荒木 数幸（三菱重工業）（～H 7.3）
泉 泰智（三菱重工業）（H 7.4～）
幹事・委員 串山 弘（三菱重工業）
山谷 周二（船舶技術研究所）（H 8.4～）
壇上 裕二（日本海事協会）（～H 8.5）
柳瀬 啓（日本海事協会）（H 8.6～）
稻富 正晴（日立造船）
中島 利幸（石川島播磨重工業）
佐々木 耕（三井造船）
三島慎次郎（日本钢管）
新田 啓一（住友重機械工業）
荒堀 芳正（川崎重工業）
岡村 貞夫（赤阪鐵工所）
斎藤 朝彦（阪神内燃機工業）
委員 塚原 茂司（前船舶技術研究所）（～H 8.3）
中島 康晴（船舶技術研究所）（H 8.4～）
松岡 弘憲（日本郵船）（H 8.4～）
木戸 茂幸（三井造船）
徳岡 哲夫（川崎重工業）
今橋 武（ディーゼルユナイテッド）
若月 祐之（三菱重工業）（～H 7.3）
岡部 雅彦（三菱重工業）（H 7.4～H 8.9）
阪口 勝彦（三菱重工業）（H 8.10～）

分科会（平成8年度）

主査 松岡 弘憲（日本郵船）
委員 泉 泰智（三菱重工業）
山脇 真（日本船主協会）（～H 8.8）
千葉 広（日本船主協会）（H 8.9～）

岡 實 (日本海事協会)
山谷 周二 (船舶技術研究所)
中島 康晴 (船舶技術研究所)
大竹 輝幸 (大阪商船三井船舶)
竹永健次郎 (川崎汽船)
脇屋 伯英 (日本郵船)
梅本眞一郎 (日本郵船)
田山経二郎 (三菱重工業)
阪口 勝彦 (三菱重工業)
今橋 武 (ディーゼルユナイテッド)
福田 哲吾 (三井造船)
八尾 正夫 (日立造船)
徳岡 哲夫 (川崎重工業)

討議参加者 菊地 正晃 (船舶技術研究所)
〔委員会〕 馬場 宣裕 (日本海事協会)
〔幹事会〕 池上 剛二 (日本钢管)
前田 明徳 (日本钢管)
柴田 菊夫 (日本钢管)
赤池 恵 (日本钢管)
大谷 正樹 (阪神内燃機工業)
小林 浩喜 (日立造船)
林 雅俊 (日立造船)
村田 直宏 (日立造船)
金丸 賢一 (日立造船)
杉原 正英 (三菱重工業)
山田 知夫 (三菱重工業)
上園 浩 (三井造船)
長門 正彦 (前三井造船)
花房 真 (三井造船)
林 潤一 (ディーゼルユナイテッド)
今井 弘次 (ディーゼルユナイテッド)
帆刈勇喜男 (赤阪鐵工所)
斎藤 洋一 (赤阪鐵工所)
山本 寛一 (川崎重工業)
桜井 秀明 (川崎重工業)
中村 陽一 (川崎重工業)
原田 朋宏 (石川島播磨重工業)
船越 文彰 (住友重機械工業)

片岡 靖雄（住友重機械工業）
吉岡 英生（住友重機械工業）
西川 司（大阪商船三井船舶）
上原 裕士（大阪商船三井船舶）
奥村 吉男（前日本郵船）

討議参加者 後藤 敬造（三菱重工業）
(分科会) 長谷川 司（川崎汽船）
花房 真（三井造船）
馬場 真二（日立造船）
中尾 徹（日立造船）
大竹 和彦（三菱重工業）
森田 幹（大阪商船三井船舶）
瀧本 義夫（川崎汽船）
松本 信幸（ディーゼルユナイテッド）

目 次

1. 緒 言	1
2. 研究の目的と目標 (研究の必要性とねらい)	2
3. 実施の内容	4
3. 1 試験機関及び試験船	4
3. 2 試験方案の確立	4
3. 3 機関各諸元の計測	5
3. 4 自然条件の変化に伴う機関各諸元の変化の計測	5
3. 5 条件の違いによる影響調査	5
3. 6 各運転諸元間の相関	5
3. 7 経年変化ディーゼル機関の性能把握の研究	6
4. 得られた成果	7
4. 1 陸上と海上の比較	7
4. 2 就航後の計測	8
4. 3 条件の違いによる影響調査の結果	10
(1) 機関回転数の影響	10
(2) トルク変動の影響	10
(3) 計測原理の違いの影響	11
(4) 計測位置、吸引管の仕様の違いの影響	11
(5) 排気ガス量の算出方法の影響	13
(6) 湿度補正の影響	13
(7) 各運転諸元間の相関	14
4. 4 経年変化ディーゼル機関の性能把握	16
5. 研究成果の総括	17
6. 結言	19

1. 緒 言

海上試運転や就航後の機関の運転諸元は、通常、陸上試運転の際での値や計画資料の値と比べて若干の相違を示す。この要因としては、使用する燃料性状の違いによる差や、波浪による軸トルクの細かな変動、実際の運転点がプロペラマージン分だけ理論船用特性より過回転になること等、いろいろな理由が述べられてきたが、まだはっきりした説明は付けられていない。

また、最近、地球的大気環境保全への要求の高まりから、船舶からの排気ガス中の大気汚染物質の削減が課題となっているが、これまでの少ない計測の結果では、同一計器、同一機関を使用しても陸上での NO_x 濃度値と海上での NO_x 濃度値が大きく異なることが指摘されており、排出量の削減技術の発展や計測精度の向上に向けて系統的なデータ収集と解析が望まれている。

当研究部会では、陸上試運転時、海上試運転時及び就航後の 3 状態での機関各諸元を連続して計測し、各状態間での差異を比較・分析してその物理的理由を解明して、今後のディーゼル船機関部の初期計画の確立に資すると共に、併せて造船各社と機関メーカー各社の計測方案及び計測技術の統一と精度向上を計ることを研究の目的として平成 6 年度から平成 8 年度の 3 カ年間にわたり本研究を実施した。

研究は、参加各社の製造する実機関及び建造する実船での計測を主体に行い、同一機関を対象に陸上計測及び海上計測を行った。計測は 3 カ年間で 9 隻におよび、更に内 2 隻については就航後 1 カ年の定期的な計測も実施して貴重なデータを収集した。

就航後 1 年以上の機関性能の経年変化については、定量的な把握がなされていない。このため、次年度以降の将来テーマの取り上げ方について分科会を設けて調査研究を行った。

研究に際しては、陸上試験及び海上試験とともに ISO で審議中の陸上試験と海上試験での排気ガス性状計測の標準案に則した統一した方法と項目について行い、特に排気ガス性状の計測については過去に実機関・実船で実施した例はほとんどないことから、計測場所の影響の比較、計器の比較等も含めて行った。

本研究では、陸上と海上間の各運転状態での計測データを負荷毎に比較し、その傾向を調べるとともに、各諸元間の相関を検討した。また、研究を通じて、今後の船舶での排気ガス抑制の規制検討の際に機関メーカー及び造船所間で共通に用いることが出来る計算方法等の確立を目指した。

2. 研究の目的と目標（研究の必要性とねらい）

近年、地球環境保護の大きなテーマのひとつである大気汚染対策として、船舶においても排気ガス中の汚染物質の削減が検討されている。IMOにおいても1991年1月の総会で「2000年までにNOx, SOxを現状レベルの30%、50%削減する」ことが決議され、海洋環境保護委員会(MEPC)、バルクケミカル小委員会(BCH)などで、MARPOL73/78条約の新付属書の中に組み入れるべく審議がされ、1997年秋頃にも決定の見通しとなっている。

なお、排気ガス中の汚染物質としては、大きく分けて、燃料中の硫黄分が酸化されて生じる硫黄酸化物(以下SOx)と、大気中の窒素が燃焼室内で高温酸化されて生じる窒素酸化物(以下NOx)とがあるが、前者は使用する燃料にのみ起因するので燃料中の硫黄分の規制となっている。後者については、機関の製造時、これを搭載した船舶の海上試運転時、就航後の一定期間毎等に検査が行われる方向である。

しかしながら、この船舶からの排気ガス規制の動きに対して、これまで舶用機関及び船舶での排気ガス性状(特にNOx濃度)の計測が行われた例は少なく、また機関製造者及び造船所間で統一した計測手法の確立もなされていなかったため、規制への対応可能な条件が充分に整っているとは言えなかった。

このような船舶からの排気ガス規制の動きに対して、現状の舶用主機関の排出NOx濃度の実態を把握して、相互に比較検討が行えるように、計測方法・解析方法等の計測手法を構築することが強く期待されていた。

また、計測手法を構築する際には、国際的に認められるであろう基準に準拠して行うことは当然として、実際の作業においては計測実施者の混乱を極力なくすためにも、予め計測結果に影響すると考えられる項目についても比較検証を可能な限り実機を使用して行っておくことと、算出方法・計算方法についても他の方法との比較を行っておくことに配慮した。

海上試運転及び就航後の計測に係わる関係者からは、陸上と比べると厳しい船舶の機関室の温度・湿度環境で作動して、且つ、携帯することが可能なポータブルな計測器の実用化の検証も望まれていた。

一方、従来から船舶に搭載して推進に用いる主ディーゼル機関(以下、舶用主機関)では、海上試運転や就航後の状態で計測した機関諸元の値は、機関製造時に陸上(工場)試運転で計測された値と比べて若干の相違を示すと言われてきた。この要因としては、使用する燃料性状の違いによる差や、波浪による軸トルクの細かな変動、実際の運転点がプロペラマージン分だけ理論舶用特性より過回転になること等、いろいろな理由が述べられてきたが、まだはっきりした説明は為されていない。

加えて、排出NOx濃度は機関の燃焼状態によって大きく変化すると言われているが、これらの運転条件が変わった場合や、運転の周囲条件が変化した際に、具体的にどの程度の相違を示すのか、また就航後にどのように変化していくのかを示したデータすらなかった。近年、主機関の製造者では、排出NOxを削減するための技術開発が研究室内及び工場内で行われてきたが、先に述べたように、船舶での排気ガス規制が「海上試運転時及び就航後にも検査する」ことになった場合は、陸上試運転からの変化の傾向や影響について予め考慮する必要性が生じている。

本研究部会では上述の要請に対して、前述の統一した手法を用いて研究参加各社の実際の製造機関及び造船を使って、陸上試運転、海上試運転及び就航後の3状態での機関諸元の計測を行い、それらのデータ値を比較すること、各データ間の相関を比較することで、運転条件の違いによって相違が生じる理由及びその

傾向について検討することを目的のひとつとした。

さらに、陸上と海上の大きな条件の違いにプロペラの影響が挙げられる。陸上では機関に対して水動力計や発電機のようなトルク変動を機関へ与えない装置を使って負荷をかけている。出力絶対値のみを取り上げると、陸上と海上では同一値を得られるが、瞬時的なトルク変動のみを見ると、海上ではプロペラ側からの影響が有ると思われる。今回の計測では、一部の海上試運転で軸トルク変動値を連続計測して、操舵試験時等でプロペラから機関へのトルク変動値の変化による機関諸元の影響についても調査を行った。

本研究部会では、参加する全ての造船所及び機関メーカーが分担して、以上のような陸上試運転、海上試運転及び就航後の計測及び検討を行った。即ち、この研究を通じて、これら3状態間の相違について共通の把握を行うとともに、これから世界の船舶からの大気汚染対策をリードする上で、基礎となる部分である計測技術の統一と計測精度の向上を計ることも目的とした。

船用ディーゼル機関は、各部品の経年変化によって起こる機関信頼性低下、機関性能低下等に対してタイムリーな保守（メンテナンス）が要求される。本研究では、2船で陸上試験と海上試験に引き続いて就航後1カ年までの機関各諸元についての計測を行ったが、機関を構成する各部品が1カ年以上経年劣化した際の機関性能及び機関各部品の状態の定量的な把握はなされていない。本研究部会では、次年度以降の将来テーマとして機関の経年変化を実験的に模擬して把握することを目的に分科会を設けた。

3. 実施の内容

3.1 試験機関及び試験船

計測対象とする試験機関と試験船は、本研究に参加した各社がH 6年度からH 8年度までの3カ年間に出来た・引渡したもの用い、出力、機種及び船種については限定することなく、内航船から大型タンカー・コンテナ船にまで幅広く選択した。

計測に供した試験機関並びに試験船を表3.1に示す。尚、すべての試験機関は試験船の主機関として搭載されている。

表3.1 試験機関及び試験船一覧

船番	試験機関		試験船
	機関形式	出力 × 回転数	
A	2ストローク	9,003 kW × 102 rpm	ばら積み船
B	2ストローク	43,620 kW × 96.8 rpm	コンテナ船
C	2ストローク	21,918kW × 76rpm	タンカー
D	2ストローク	8,164kWx 122rpm	ばら積み船
E	4ストローク	1,618kW × 310rpm	タンカー
F	2ストローク	11,030kW × 105rpm	ばら積み船
G	4ストローク	* 2,942 kW × 620rpm	官庁船
H	2ストローク	15,401kWx 88rpm	ばら積み船
I	4ストローク	2,427kWx 225rpm	タンカー

* 2機一軸船に付き、1台と見なした。

3.2 試験方案の確立

機関諸元の計測項目及び方法については、これまで陸上及び海上で統一したものがなかった。しかし、機関の排気ガス性状の計測については、船用に限定せず自動車用エンジン以外のオフロード用エンジンの計測基準用として ISO/DIS 8178 "Reciprocating internal combustion engines -Exhaust emission measurements -" が審議されている。一方、先に述べた、現在IMOで審議されている排気ガス規制案でも、このISOに準拠した内容で、測定に関する技術要件が纏められている。従って、本研究で計測したデータの将来の流用と確立した試験方案の活用を考慮して、上述の ISO/DIS 8178 の内、陸上計測・海上計測・試験負荷・結果報告に関する次の各章をベースに方案を纏めた。

- Part 1: Test bed measurement of gaseous and particulate emissions
- Part 2: Measurement of gaseous and particulate emissions at site
- Part 4: Test cycles for different engine applications
- Part 6: Report of measuring results and test report

以上を基に従来から実施していた一般の機関諸元の計測項目を合わせて、計 19 項目の計測項目となった。試験負荷 (Load) については、基本的に 25%, 50%, 75%, 100% の 4 負荷とした。しかし、軸系捩り振動の関係上、海上試験にて同一負荷での運転が困難な場合は近傍の負荷としている。

使用する燃料は、各運転者が標準的に用いるものを使用することとしたが、分析項目及び分析方法については予め統一した。

3. 3 機関各諸元の計測

前項で定めた試験方案にそって、表3. 1に示した試験機関の陸上試運転時並びに試験船の海上試運転時に計測を行った。

3. 4 自然条件の変化に伴う機関各諸元の変化の計測

表3. 1に示した試験船の中で、C船（外航原油タンカー）及びE船（内航白油タンカー）の2隻については、就航後の経年変化及び海象等の影響を把握するため、乗船計測を適時行った。乗船計測は、就航後1カ年間を目途としH7からH8年度にかけてC船は2回（12日間）、E船は7回（28日間）実施した。

3. 5 条件の違いによる影響調査

統一した計測方案にそって試験を進めるに際して、計測に影響を与えると考えられる次のような各内容についても、検証試験を前3. 3の機関各諸元の計測と同時に行つた。

（1）機関回転数の違いによる影響

陸上試験にて、海上試験の状態を模擬して、同一負荷でプロペラマージン分（3%回転数増）での計測と、就航後の状態を模擬してトルクリッヂ側（3%回転数減）での計測を行つた。

（2）トルク変動の影響

機関へ外乱が与えられた時、機関は一定回転数制御を行つており、燃料量を自動的に制御する。トルク変動の影響を確認するため海上試運転での操舵試験時の燃料量・回転数の変化に対する、排気ガス性状の変化等を計測した。

（3）NOx濃度／酸素濃度計の計測原理の違いによる影響

NOx濃度計測には大きく分けて4つの方法（化学発光法、非分散型赤外分析法、定電位電解法、非分散型紫外線分析法）があるが、取り扱い性や操作性等を考慮の上、化学発光法（以下、CLDと略）と定電位電解法（以下、ECCと略）を用いた。同時に計測して、2機種の比較を行つた。

（4）計測位置の違いによる影響

船内の狭隘なスペースでの排気ガス管では、各船で同一の場所からのサンプリングは困難である。排気ガス管の径方向及び流れ方向の双方について、サンプリング位置を替えての計測を行つた。

（5）排気ガス量の算出方法の違いによる影響

ISOで定めている、単位出力当たりの排出NOx量（g/kWh）の表示のために、排気ガス量を算出する必要がある。この排気ガス量の算出方法についてはいくつかあるが、ここでは過給機吸込空気計測と燃料消費量から求める方法、過給機タービン特性から求める方法、排気ガス中のCO₂濃度から求めるカーボンバランス法、排気ガス中の酸素濃度から求める酸素バランス法の4種類の異なる方法について検討した。

（6）湿度補正方法の違いによる影響

NOx排出量の算出に当たつて、機関の吸込空気の水分に係る湿度補正係数は2種類ある。

KWR：分析値の乾き／湿り補正

KHIDES：吸氣中の水分によるNOx生成量変化の補正

これらの算出に最も影響を与える吸氣の絶対湿度について、過給機吸込空気の絶対湿度と掃気室出口の絶対湿度の影響を検討した。

3. 6 各運転諸元間の相關

前3. 3及び前3. 4の陸上試験、海上試験及び就航後で得られた各運転諸元の計測データに基づいて、

機関性能値及び NOx 排出率に対する影響度を中心に各諸元との相関を検討した。

3. 7 経年変化ディーゼル機関の性能把握の研究

機関の経年変化部位の特定と重要度の評価に文献調査を行うとともに、実験機関を用いて経年変化を模擬して、掃気圧力低下、掃気温度上昇、燃料弁噴口拡大及びリング合い口拡大の試験等を実験機関にて行い、排出 NOx 濃度、ライナー温度を含む機関性能計測を実施した。

4. 得られた成果（結果）

4. 1 陸上と海上の比較

表3. 1に示した各機関諸元を計測して得られた結果の例を図4. 1及び4. 2に表す。図4. 1は比較の為に、負荷を横軸に、陸上試験での値を分母にして、海上／陸上の比を表した。排出 NOx 濃度値 (ppm) 及び酸素濃度値 (O_2) は wet 状態に統一して表示している。NOx 排出率 (g/kWh) は更に吸気空気湿度補正を加えている。

図4. 2は、現在 IMO で審議中の規制案に沿って、横軸を機関の最大回転数、縦軸を 25%、50%、75%、100% の各負荷での NOx 排出率 (g/kWh) に、それぞれ 0.15、0.15、0.5、0.2 の重み付けを付けて表した数値 (E3 モード値) で表し、IMO 規制案を付した。

全てのデータの比較を通して以下のような計測結果を得た。

排出 NOx は濃度値 (ppm) 及び出力当たりの NOx 排出率 (g/kWh) の双方とも、バラツキはあるが平均すると、海上試験のほうが陸上試験より約 7 % 高い値となった。図4. 2で示した、E3 モードでは約 9 % 高い値となる。

排出酸素濃度値は、海上及び陸上ともに差はほとんどない。燃料消費率は、約 4 % 海上が高めとなっている。他の諸元については、バラツキはあるも大きな差は見られなかった。

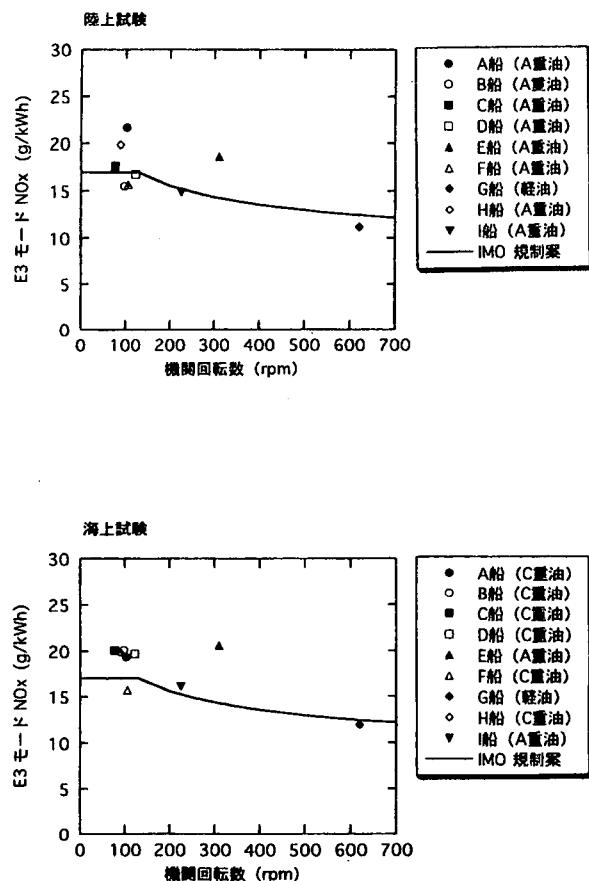
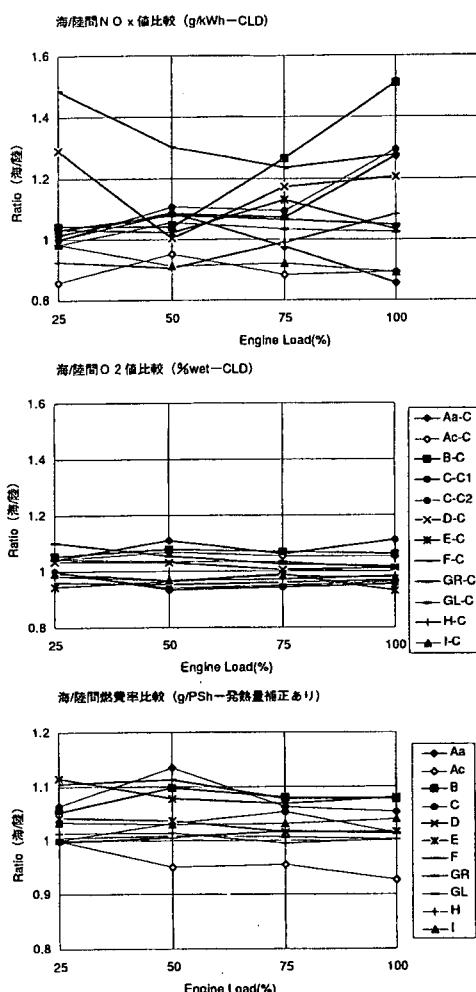


図4.2 E3モードによる NOx 排出率

図4.1 陸上と海上の比較

4. 2 就航後の計測

図4. 3にC船及び図4. 4にE船での機関各諸元の計測結果を時系列に並べた結果を示す。

両船の結果だけで断定は困難であるが、共通して以下のような結果が得られたと考える。

海上試験の結果と比較して、出力当たりの NOx 排出率 (g/kWh) 及び Pmax、Pcomp 値は次第に下がる傾向が見られる。一方、燃料消費率、過給機出口排気ガス温度は上昇の傾向が見られる。

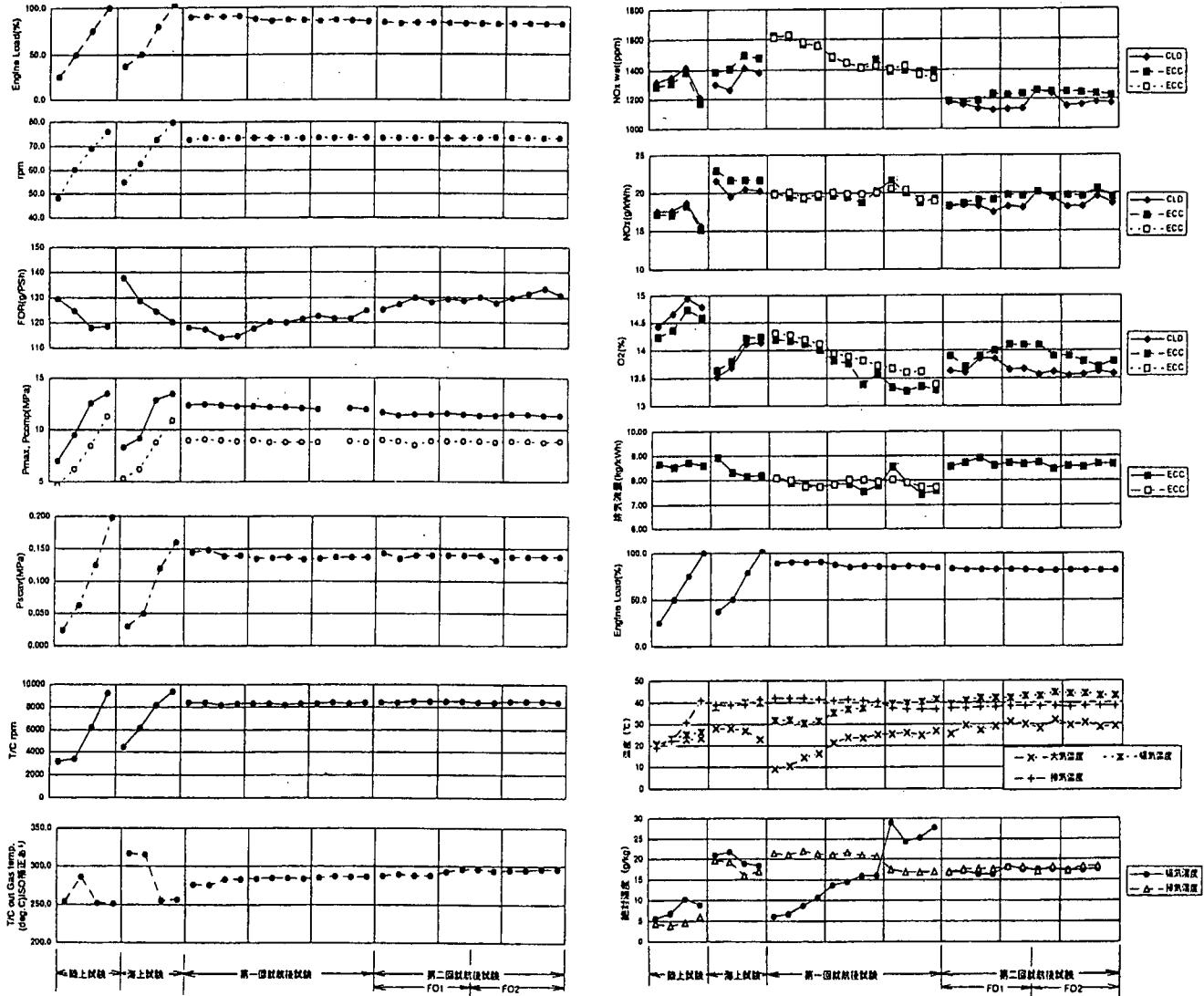


図4.3 C船の就航後計測結果

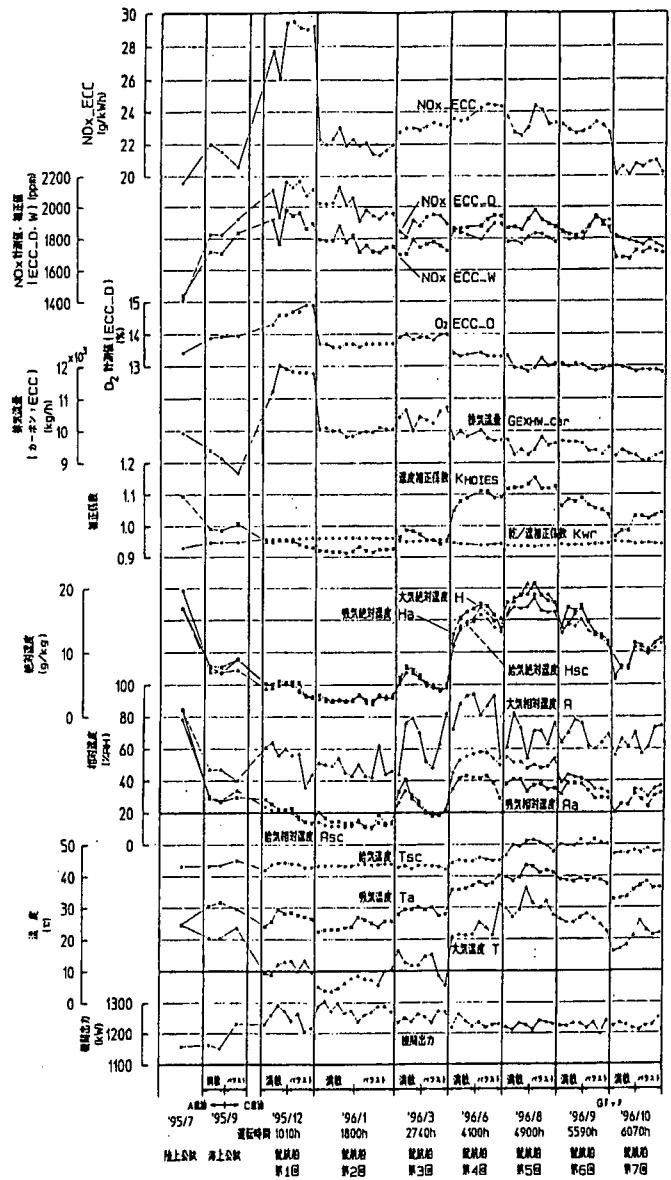
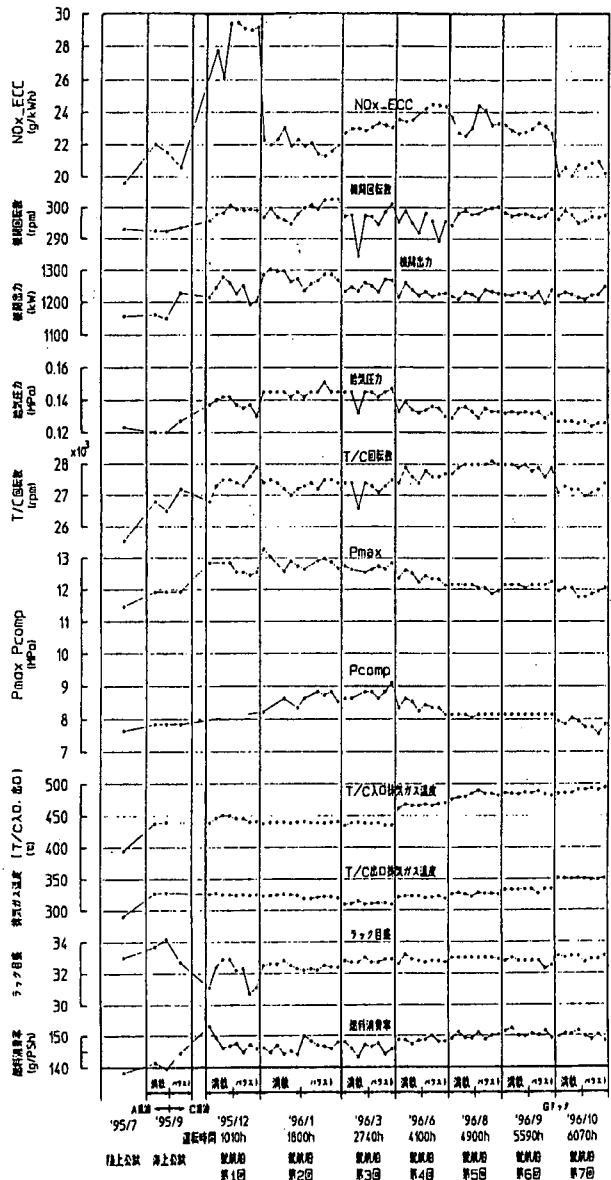


図4.4 E船の就航後計測結果

4. 3 条件の違いによる影響調査の結果

(1) 機関回転数の影響

図4.5に各負荷で、回転数を3%変化させて得た結果を示す。結果として、同一負荷でも回転数が高くなるにつれて、若干低下するのが見られた。尚、同時に計測した燃料消費率、排気ガス温度等には明らかな変化は見られなかった。

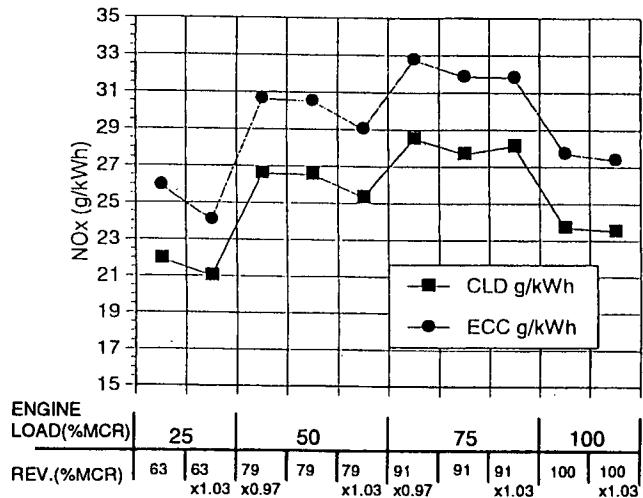


図4.5 機関回転数の影響

(2) トルク変動の影響

図4.6にトルク変動の影響について行った試験の結果例を示す。この図は旋回試験の際に、連続に計測結果を記録したものである。図中のトルク値は、中間軸表面に歪みゲージを貼付けトルク変動率を計測したデータから、太実線は中央値、その上下の細実線は振れ幅の最大最小値を結んだものである。

他の操舵試験の結果及び他船での同様の計測結果をまとめると、いずれも2ストローク機関の場合であるが、転舵中のトルク変動率は10数%になり、それに伴って回転数、排出NOx濃度及び酸素濃度は変化するが、NOx及び酸素の変動は少なく数%に止まっている。

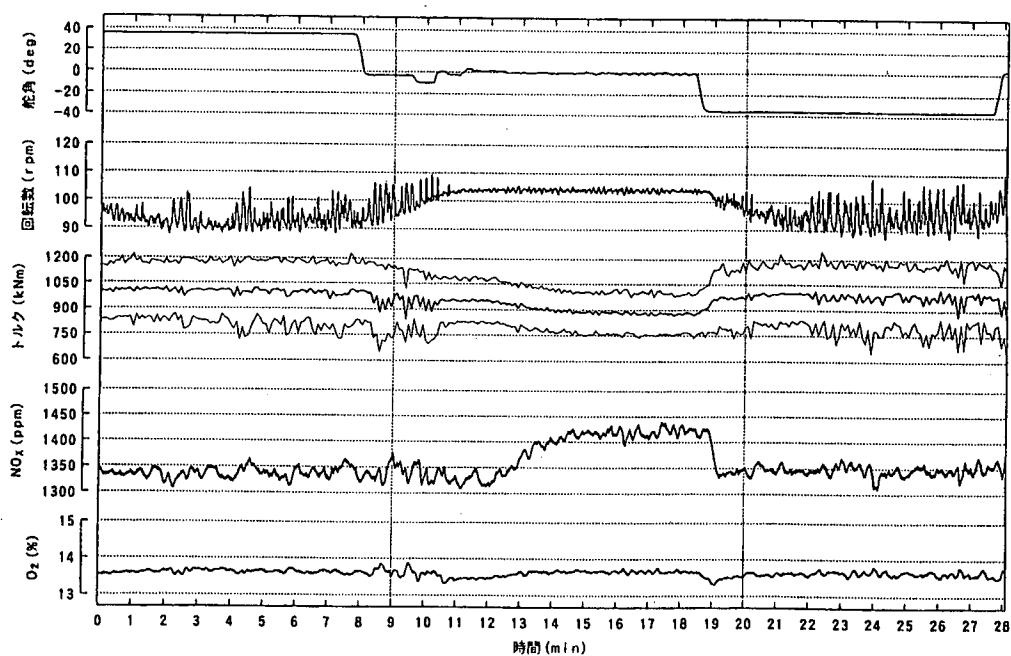


図4.6 旋回試験時の計測結果

(3) 計測原理の違いの影響

図4.7に、計測原理が異なる2機種(CLDとECC)の計測結果を、比(ECC/CLD)に直した分布を表している。このように、NO_x濃度について言えば、ECCの方が平均で約4%高めを示す。一方、酸素濃度については、平均で1%以内の差を示した。

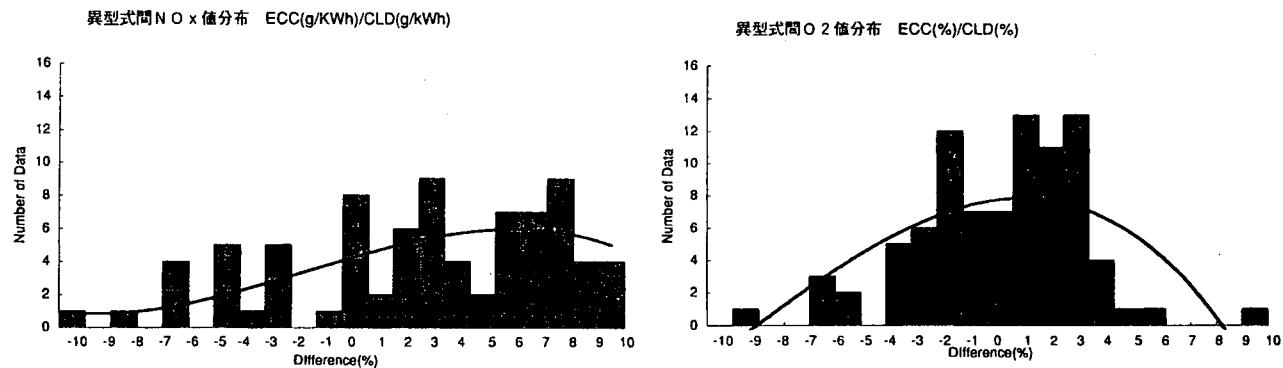


図4.7 異型式間の計測結果の分布

(4) 計測位置、吸引管の仕様の違いの影響

図4.8に計測位置の概略図を示す。図4.9に排気ガス管の径方向と流れ方向の双方に計測位置を変化させて、排出NO_x濃度と酸素濃度を計測した結果の例を示す。計測位置(サンプリングポイント)を変更しても、結果に変化はほとんど見られなかった。また、吸引管を加熱又は非加熱のいずれの仕様にしても、結果への影響はほとんど見られなかった。

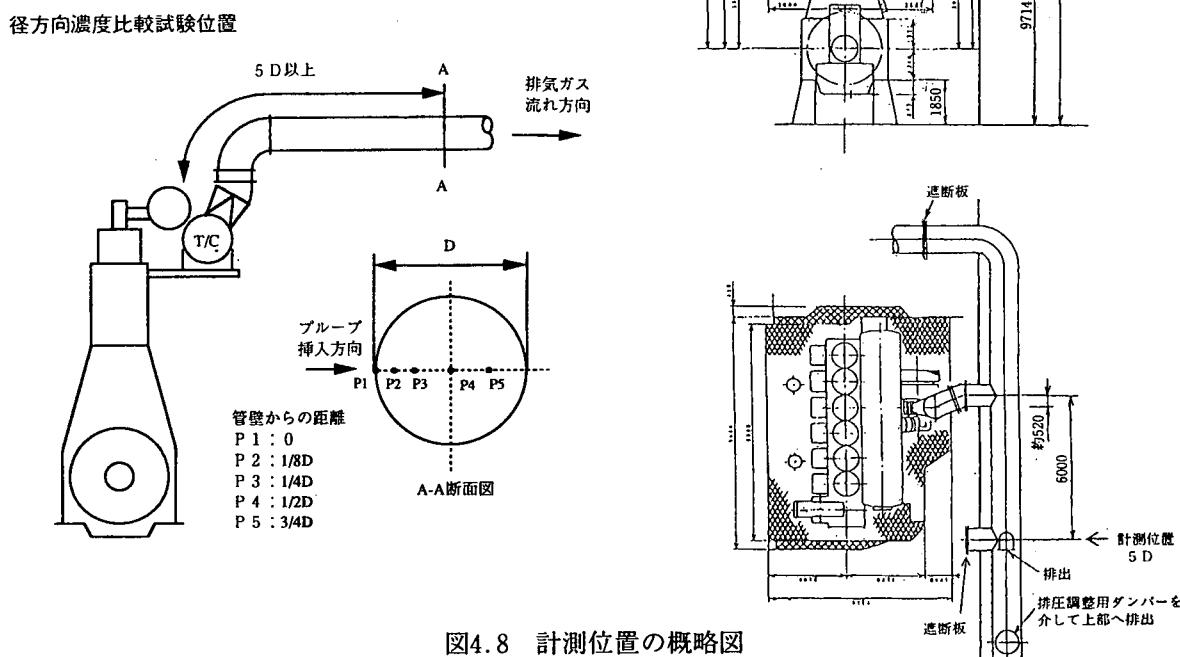
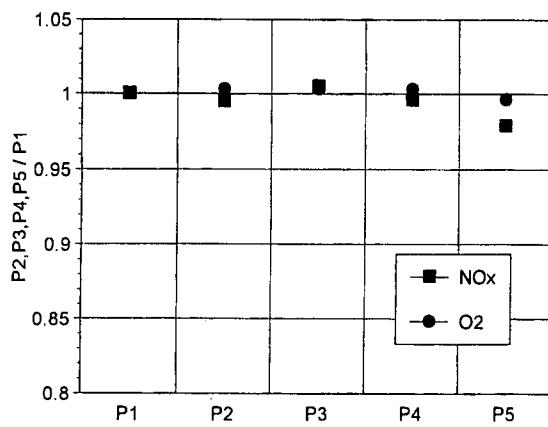
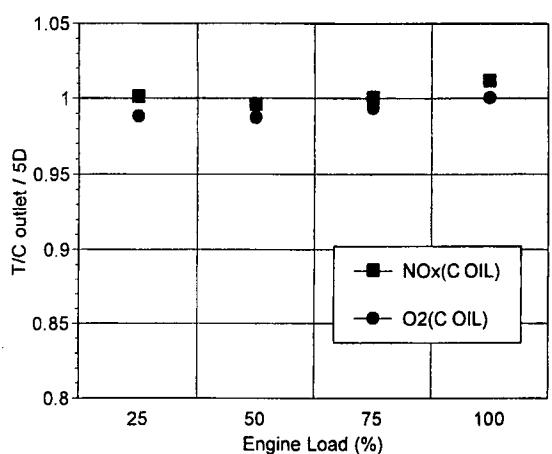


図4.8 計測位置の概略図

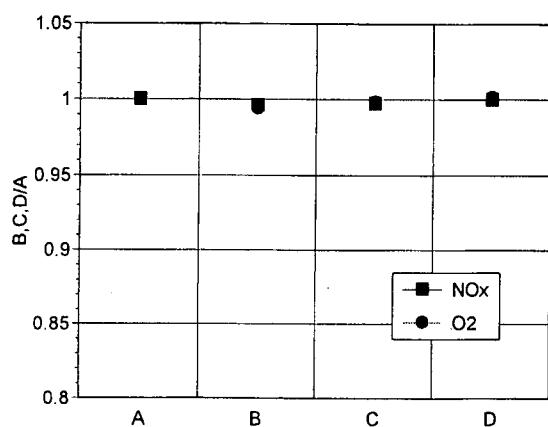
採取位置（径方向）の違いによる比較結果
(NOx : g/kWh , O2 : %)



採取位置（流れ方向）の違いによる比較結果
(NOx : g/kWh , O2 : %)



吸引管の仕様の違いによる比較結果
(NOx : g/kWh , O2 : %)



吸気ガス流れ方向
吸引管の違い計測系概略図

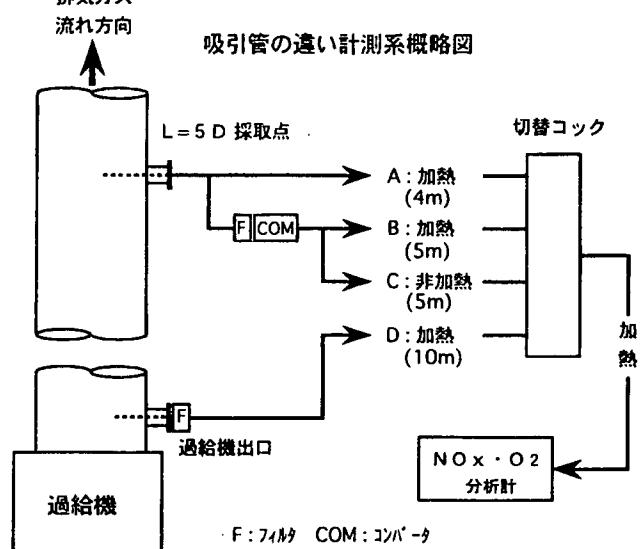


図4.9 計測位置及び吸引管の違い

(5) 排気ガス量の算出方法の影響

図4. 10に各風量（排気ガス量）算出方法で求めた結果の比較を示した。図はカーボンバランス法の基準に各方法で算出した結果を比で表している。

カーボンバランス法及び酸素バランス法のいずれで求めた値も、通常、機関メーカーが陸上試験で実施する計量用のオリフィスやノズルを用いての計測でISOが認めている5%の誤差の範囲内にあることが確認された。

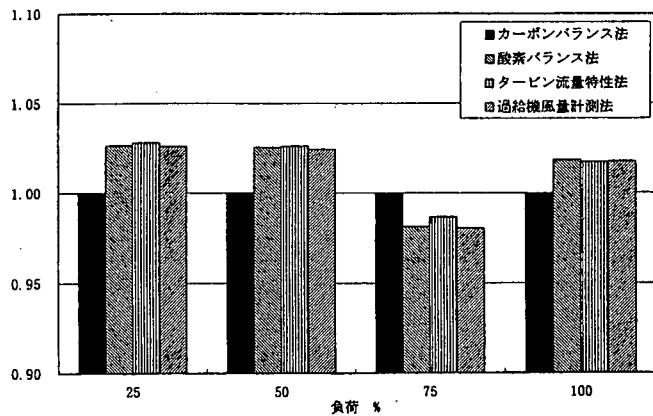


図4.10 風量計測法の違いによる排ガス量の比較

(6) 湿度補正の影響

図4. 3に示した、C船の就航後第1回計測の結果を用いて検討した、結果を図4. 11に示す。この計測では、6日間の運転で冬場の日本から熱帯までの航海を行っており、途中で機関室内（吸気）の絶対湿度値が16g/kgから29g/kgまで突然に変化した。この変化を境に掃気室内の相対湿度を100%として求めた掃気室内絶対湿度の方が低くなり、空気冷却器出口では過飽和に達して水分の凝縮が起こったと推定される。NOx排出率(g/kWh)は、ISOで定めた通り、吸気絶対湿度を用いて補正を行うと、図の○点のように不連続の変化を示したようになったが、掃気室内の絶対湿度を用いて補正を行うと、図の●点のように連続した傾向を示す結果となった。

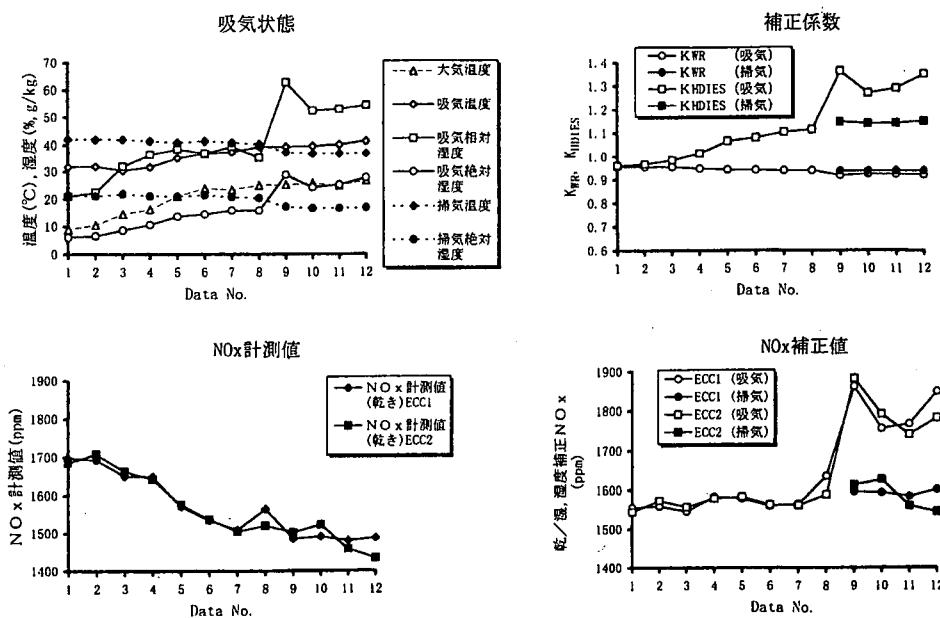


図4.11 湿度補正の影響

(7) 各運転諸元間の相関

陸上、海上及び就航後の3状態での全ての計測結果間の相関の検討結果の中で顕著な例を以下に述べる。

図4.12に、各船の燃料消費率とNO_x排出率(g/kWh)の相関を示す。図の左側は2ストローク機関、右側は4ストローク機関に分けた。4ストローク機関は、相互に強い正の相関が窺えるが、2ストローク機関は、VIT(燃料噴射時期自動調整装置)の影響が重なるためか相関が見られない。

図4.13に、Pmax/トルクとNO_x排出率(g/kWh)の相関を示す。2ストローク機関及び4ストローク機関共に、同じような相関にあるように思われる。Pmax/トルクは、燃焼室内の爆発度に係わっており、NO_x排出量(g/kWh)は爆発的圧力上昇期における燃焼状態に関連するものと推察される。

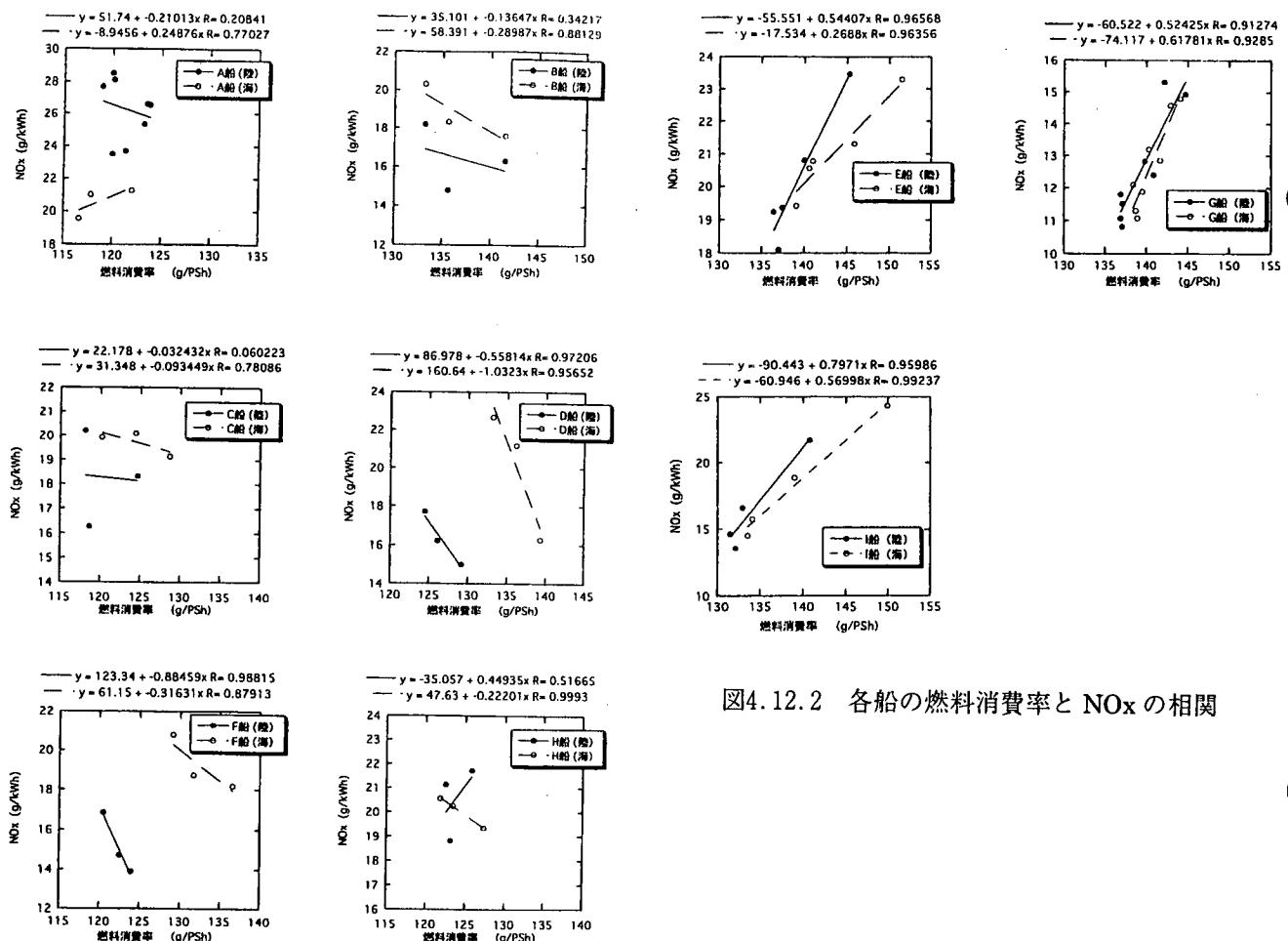


図4.12.1 各船の燃料消費率とNO_xの相関

図4.12.2 各船の燃料消費率とNO_xの相関

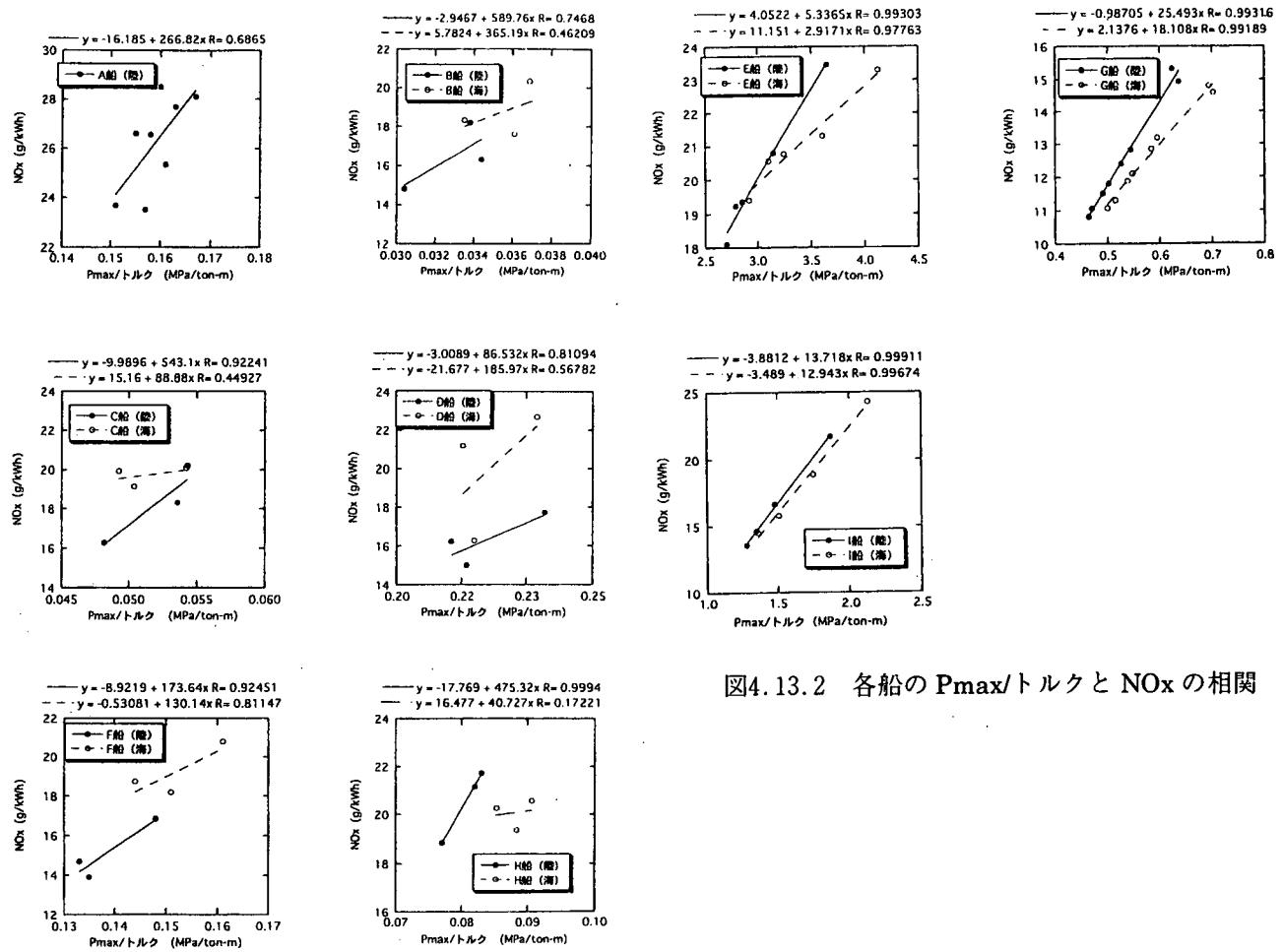


図4.13.1 各船の P_{max}/トルクと NO_x の相関

図4.13.2 各船の P_{max}/トルクと NO_x の相関

4. 4 経年変化ディーゼル機関の性能把握

平成6年度から始まったSR224研究部会の分科会として、最終年度（平成8年度）に於いて、船用ディーゼル機関の経年による性能変化を系統的に把握する研究の為のフィージビリティースタディーとして、主として実験機関による基礎試験を通して、『経年船用ディーゼル機関の性能の把握』の研究を実施することになった。

このため、文献調査等を通して、ディーゼル機関の主要な経年劣化要素を選択し、その要素の劣化状態を模擬再現させ実験機関による諸性能の調査を行った。

文献調査の結果、長期間稼働するディーゼル機関が、どのような経年変化を起こすかについては、機関の種類、型式、使用環境、負荷条件、燃料・潤滑油の種類、配管系を含むプラントシステムの相違、メインテナンスの仕方等々、多くの因子に左右されるため、経年変化がディーゼル機関の性能にどのような影響を及ぼすかについて系統的に行われた研究はほとんど見当たらなかった。但し、機関各要素の作動中の物理現象をとり扱った研究はかなりみられた。

文献調査を踏まえて機関構成部品の主要経年変化要素を選択し、その要素の劣化状態を実験機関で模擬再現させ、経年変化状態把握及び現象評価手段を検証し以下の結果を得た。

機関性能低下を伴う経年変化について、経年変化度合いと性能低下の関係が把握できた。

機関性能低下を伴わないが単体機能の低下する経年変化について、燃料噴射系では噴射特性（噴射圧力、噴射期間）を計測する方法で噴孔拡大を検知できた。

リング・ライナ系ではリング間圧力を計測する方法でリング合い口拡大によるプローバイ增加を検知できた。ライナ温度の検出性能低下やプローバイ增加の検知に有効であることが確認され、センサの信頼性も高いことから経年変化把握手段として十分実用化が期待できる。

本試験では、燃料弁噴孔拡大試験のようにあらかじめ性能低下を予測して模擬したにもかかわらず、性能低下が再現できなかったケースもあり、今後の研究においては各要素の経年変化を模擬する方法をさらに検討する必要がある。また、リング間圧力計測のように現象は検知できるが実船適用に際してはセンサの信頼性・耐久性に課題があり、経年変化を把握するには機関装着に問題なく且つ信頼性の高い計測法の確立が必須である。

本試験は極端な経年変化を模擬したものであるが、実船に於いては運航条件や使用燃料等が異なるなかで各種の経年変化が複合的に遂行すると考えられ、今後、更にいくつかの経年機関単体要素の組み合わせ試験も実施することにより、複合状態での経年変化の程度が把握でき、メインテナンス及び部品交換を行う際の一定の指針になり得ると考えられる。

5. 研究成果の総括

3カ年間の本研究を通じて実施した各種の計測内容及び計測結果から、今後のディーゼル船機関部の計画、設計に際して活用出来る内容を次のようにまとめた。

(1) 計測法案の統一、標準化

IMOでの大気汚染物質の排気規制の動きもあり、今回と同様の一般諸元を含めての排気ガス性状を計測することが増えてゆくと思われる。今回の算出方法を含む計測方案及び報告要領は、機関メーカー・造船所・船舶運航者の相互で用いることの出来る内容であるが、JIS等で定められた標準ではない。今後、国内で広く統一して用いるため、標準化・基準化を強く望みたい。機関メーカー、造船所、船舶運航者の相互にまたがる計測を必要とする際には、今回の算出方法を含む試験方案と報告要領は、統一して用いることが出来るものである。

(2) 計測法、補正法について

今回の研究を行うに際して、統一した試験方案の作成とその内容の検証がひとつの重要な課題であった。このため、この方案は本研究のみならず将来の各種規制や陸上と海上の間での比較試験等々への活用や、我が国以外との比較等にも活用できることを念頭に、ISOの基準をベースに作成した。加えて、陸上試験、海上試験を通じて「測定位置の違いの影響はないこと」や「測定計器の違いによる影響の程度」、「風量計算法の検証」、「湿度補正の考え方」などの不明点をひとつひとつ明らかにした。

排気ガス風量計測については、排気ガス性状分析から容易に算出が可能な「カーボンバランス法」及び「酸素バランス法」が測定器具を用いての方法と差がないことが明らかとなった。

湿度補正については、本研究の成果として「湿度補正には、吸込空気の絶対湿度値もしくは計測又は推定で求めた掃気室内的絶対湿度値の何れか低い方の値を用いる」ことを提案したい。これまででは、陸上又は実験場での計測のためかあまり問題とされていなかったが、海上の厳しい環境では湿度補正の影響が大きいことから、この点が判明した意義は大きいと考える。

(3) NOx 濃度計について

排出 NOx 濃度計測用の測定計器については、今後、船上での使用が増えると思われるポータブルタイプの化学発光法（CLD）と定電位電解法（ECC）の2機種についての比較を行い、平均で4%程度の差を示すことを明らかにした。この違いが生じる理由は、おのおの計測原理が異なることから生じるものでそれぞれの計器メーカー内で改良がすすめられている。船舶における無人自動測定及び常時モニタリングが主目的であれば、現在陸上プラント等で使用されている定置汎用型の使用も考えられるが全ての船舶に搭載する事を考えると相応しいとは思えない。

今回使用した計器は、常時モニター性や精度を有る程度犠牲にして、且つ船舶のタラップを人間の手で持ち込み計測が可能な携帯性を備えている。また、ISOでも5%以内は等価性を認めており、今後ともに使用については問題無いと判断した。

しかし、この排出 NOx 濃度と酸素濃度の計測の大きな課題として、これらの計測装置は基本的には分析計であり、扱う者によっては測定誤差が出やすい。そのため、頻繁に基準ガスとの較正が必要であること、取り扱いにはある程度習熟が必要であることを挙げておきたい。

(4) 陸上と海上との相違について

陸上と海上の違いであるが、排出 NOx 濃度及び燃料消費率には明らかに違いを示すことが確認された。

NOx 排出率 (g/kWh) では、各湿度補正を施したとしてもその差は全負荷平均で約 7 %、ISOで定めたE3モードでは平均で 8.6%にまでなる。燃料消費率は、海上で約 4 %の悪化を示した。これらの値の上昇する理由について、軸トルク変動率を連続で計測してその値との影響を見ることおよび各諸元間の相関を求め要因となる点を見つけだそうと試みた結果、ある程度軸トルク変動率の増加は排出 NOx 濃度の変化に繋がっていることまで把握できた。各機関諸元との相関では、NOx 排出率は機関の爆発度との相関が有る程度認められることが解った。

(5) 就航後の変化について

就航後の計測は、新造後 1 カ年の計測であった。計測結果では、排気ガス温度の若干の上昇、燃費率・NOx 濃度の若干の低下が見られたが、その変化は少なかった。

この結果から 2 年目以降の傾向を推定するのは困難である。しかし、就航後の保船業務の合理化や、乗組員の業務軽減のため、今後の機関本体の経年劣化の研究によって排気ガス性状を含めてその傾向を明らかにすることとが急務であると考える。また、就航後の定期計測を盛り込んだ IMO の規制を考えると、今回の計測機関及び船についての追跡計測も必要と考える。

(6) 現規制案のトレランスについて

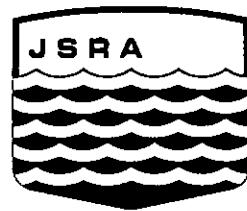
現時点では IMO その他の規制がどの様になるか決定されていないが、一応、海上での計測には、計測誤差と使用燃料の違いによって 15 % のトレランスを認める方向で検討されている。

今回の研究成果としては、平均としてこの数値内であることが確認されたが、個々のデータでは 15 % を超える結果もあり、この 15 % のトレランスは最低限必要な値であることが確認された。また、今後ディーゼル機関へ NOx 低減技術を施す際は、陸上と海上の違いを考慮して置くことが必要と考える。

6. 結 言

SR224「運転条件の違いによる機関諸元の挙動解析」では、関係者のご理解とご協力を得て、当初に設定した研究課題を実施して、舶用機関の陸上試運転、海上試運転及び就航後の3状態間の機関各諸元の変化を把握する事が出来た。また、研究を通じ得られた知識と技術は、近い将来に実施が予想される船舶からの排気ガス規制の実施に際して、我が国造船業の国際競争力を高めることに寄与すると期待したい。また、本研究の成果を活用して、世界一の造船国として、船舶からの大気汚染対策を積極的に進めることができ、地球環境保護への貢献を果たせるものと信じる。

最後に、本研究の実施を支援して頂いた日本財團にお礼を申し上げると共に、陸上試運転、海上試運転及び就航後の計測に全面的に協力頂いた（財）日本海事協会技術研究所並びに（株）堀場製作所に感謝の意を表します。



The Shipbuilding Research Association of Japan